http://www.icn.unal.edu.co/ Caldasia 34(2):409-420. 2012

¿LAS CARRETERAS PUEDEN RESTRINGIR EL MOVIMIENTO DE PEQUEÑOS MAMÍFEROS EN BOSQUES ANDINOS DE COLOMBIA? ESTUDIO DE CASO EN EL BOSQUE DE YOTOCO, VALLE DEL CAUCA

Could roads restraint the movement of small mammals in Andean forests of Colombia? Study case in the bosque de Yotoco, Valle del Cauca

Fernando Vargas-Salinas
Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de Los Andes, Bogotá, D.C. Colombia. vargassalinasf@yahoo.com

Fabián López-Aranda
Consultor independiente. Biólogo egresado Universidad del Valle, Cali-Colombia.

RESUMEN
La presencia de carreteras puede producir fragmentación interna o subdivisión de poblaciones de animales silvestres con potenciales efectos para su conservación. Evaluamos si la carretera Buga-Buenaventura que atraviesa la Reserva Forestal Bosque de Yotoco (cordillera Occidental, Valle del Cauca, Colombia) subdivide las poblaciones de pequeños mamíferos ahí presentes. Durante seis meses (febrero a julio 2006) capturamos, marcamos y liberamos 170 individuos de cinco especies: *Melanomys caliginosus*, *Handleyomys alfaroi, Rhipidomys latimanus*, *Marmosa robinsoni* y *Heteromys australis*. Nuestros datos señalan que estas especies exhiben inhibición parcial para cruzar la carretera. Si especies de borde de bosque y áreas perturbadas como las que aquí se registraron se inhiben para cruzar la carretera, es de esperar que la inhibición sea mayor o total en especies de interior de bosque.

Palabras clave. Ecología de carreteras, pequeños mamíferos, roedores, Bosque de Yotoco, fragmentación interna.

ABSTRACT
The presence of roads can produce internal fragmentation or subdivision of animal wild populations with potential effects for their conservation. We tested the hypothesis that the Buga-Buenaventura highway crossing the Forestal Reserve Bosque de Yotoco (western Andes, Valle del Cauca, Colombia) creates internal fragmentation in populations of small mammals. During six months (February to July 2006) we captured, marked, and released 170 individuals of five species: *Melanomys caliginosus*, *Handleyomys alfaroi, Rhipidomys latimanus*, *Marmosa robinsoni* and *Heteromys australis*. Our data suggest that these species exhibited partial inhibition to cross the monitored road. These mammal species are from forest edges and disturbed areas, thus suggesting a stronger or total crossroad inhibition in species from the forest interior.

Key words. Road ecology, small mammals, rodents, Bosque de Yotoco, internal fragmentation.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras pueden producir fuertes efectos sobre la biodiversidad (Forman *et al.* 2003, Laurance *et al.* 2009). Los efectos primarios de las carreteras se derivan desde su construcción y entre estos, están la pérdida de hábitat, la mortalidad de individuos, la polución física, química o biológica, la fragmentación de poblaciones y la creación de nuevos micro-hábitats. Los efectos secundarios se producen por el acceso que proveen las carreteras; entre éstos están el establecimiento de comunidades humanas, el cambio en el uso de la tierra y el desarrollo industrial (Seiler 2001). Estos efectos secundarios a su vez, pueden generar o incrementar la severidad de los efectos primarios.

Aunque la mortalidad de la fauna debido a atropellamientos en carreteras es muy frecuente y conspicua, este no es el único de los efectos ecológicos negativos que producen las carreteras (Forman & Lauren 1998). Las carreteras también imponen barreras físicas que pueden ser difíciles de superar por muchos vertebrados, incluso para especies con amplia movilidad. Van der Zande *et al.* (1980) señalan que varias especies de aves evitan cruzar carreteras amplias y con mucho tráfico. Mader (1984) encontró que pequeños roedores se mueven paralelamente a una carretera, pero que no la atraviesan a pesar de que solo tenga seis metros de ancho. Yale & Mills (2001) sugieren que poblaciones de algunas especies de mamíferos están fragmentadas por la presencia de carreteras anchas y con alta densidad de tráfico (ver Goosem 1997, 2007, y Shepard *et al.* 2008 para más ejemplos). Lo anterior indica una tendencia a la subdivisión y aislamiento de poblaciones de animales, que puede acarrear la subsiguiente pérdida de su diversidad genética y el incremento en la susceptibilidad de extinción (Frankham *et al.* 2002, Shepard *et al.* 2008).

La fragmentación interna se define como el proceso por el cual las poblaciones de animales silvestres son subdivididas por procesos de fragmentación de hábitat y deforestación con forma lineal, como la que sucede durante la construcción de carreteras o el establecimiento de corredores de servidumbre a lo largo de líneas de transmisión de energía (Goosem 1997). En Colombia se han realizado estudios que evalúan los efectos ecológicos producidos por el establecimiento de líneas de energía (Osorno-Muñoz 1999, De La Zerda & Rosselli 2003) y la presencia de carreteras (Delgado-V. 2007, Vargas-Salinas *et al.* 2011, Quintero-Ángel *et al.* 2012), pero no conocemos nada sobre los procesos de fragmentación interna de poblaciones de vertebrados en los Andes colombianos y muy poco a nivel neotropical (Laurance *et al.* 2009). No obstante, López (2006) evaluó el efecto de carretera sobre pequeños mamíferos en el Bosque de Yotoco, Valle del Cauca, y encontró que algunos individuos pueden moverse hasta 600m de forma paralela a la carretera, pero no la atraviesan. Estos resultados permiten inferir una inhibición de cruzar la carretera por parte de los pequeños mamíferos, pero no corroboran si dicha inhibición es parcial o total.

En este estudio evaluamos si los pequeños mamíferos en la Reserva Bosque de Yotoco exhiben inhibición parcial o total de cruzar la carretera ahí presente. Documentar la severidad de fragmentación interna en las poblaciones de animales en los Andes de Colombia es importante, pues ofrecería información útil para tomar decisiones en torno a planes de manejo que busquen restablecer o aumentar el flujo de individuos entre hábitats fragmentados a lo largo de la red vial del país.

Área de estudio

La Reserva Forestal Bosque de Yotoco es remanente de bosque sub-andino, localizado en la vertiente oriental de la cordillera Occidental en el departamento del Valle del Cauca (3º 53' 18'' N; 76º 24'5'' O). La Reserva consta de 559 ha de área boscosa que permiten la preservación del recurso hídrico que surte al municipio de Yotoco y áreas aledañas. La Reserva está localizada entre los 1200 y 1700m de elevación en un área con pendientes entre 20 y 40°, la precipitación media anual es mayor a 1100mm, y su temperatura varía entre 15 y 22ºC (Escobar 2001). Cerca de 2km de la carretera Buga-Buenaventura, construida en la década de 1960, dividen la Reserva en dos partes. El fragmento más grande (Yotoco Bajo, YB) posee el 82% del área de la Reserva y está localizado hacia el sur de la carretera. El otro fragmento (Yotoco Alto: YA) contiene el 18% del área de la Reserva; en este fragmento se encuentran las instalaciones para funcionarios, campamentos y una estación climatológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar el efecto de la carretera sobre el movimiento de individuos entre ambos fragmentos de la Reserva Bosque de Yotoco (YA, YB) se realizaron muestreos empleando trampas de captura en vida tipo Sherman® dispuestas mediante dos tipos de arreglos espaciales. El primer arreglo consistió de cinco puntos de muestreo a lo largo del tramo de la carretera que atraviesa la Reserva. Cada punto de muestreo consistió de dos estaciones, cada una ubicada a lados opuestos de la carretera. Por ejemplo, la estación 1A en el fragmento boscoso de YA se ubicó al lado opuesto de la carretera que la estación 1B en el fragmento YB. Las estaciones 1A y 1B (punto de muestreo 1) se ubicaron hacia el extremo sur-oeste (dirección a Buenaventura). Las estaciones 2A y 2B (punto de muestreo 2) se ubicaron 200m hacia el noreste (en dirección al Municipio de Buga), y así sucesivamente cada 200m a lo largo de la carretera. Cada estación fue muestreada por 5 días de forma continua, tiempo después del cual se trasladaba al lado opuesto de la carretera en el siguiente orden: 1B, 1A, 2B, 2A, 3B, 3A, 4B, 4A, 5B y 5A.

Cada estación de muestreo consistió de 38 trampas tipo Sherman: 20 pequeñas (190 x 80 x 80mm) y 18 medianas (340 x 105 x 105mm) ubicadas en dos transectos lineales de 50m de largo y separados entre sí por 5m (Figura 1A). Cada transecto se ubicó de forma perpendicular a la carretera a partir de una distancia de 10m de la cuneta y se alternó una trampa pequeña seguida de una mediana. Las trampas pequeñas se colocaron a nivel del suelo y las medianas entre 100 y 150cm de altura. Estas alturas fueron seleccionadas con el objetivo de incrementar la posibilidad de captura de animales cuya actividad es a nivel del suelo o en ramas y troncos de árboles. Las trampas tipo Sherman estaban separadas entre si por una distancia horizontal de 2.5m. El cebo utilizado consistió de un preparado de avena en hojuelas y maní tostado, también se le agregó pedazos de carne y grasa de cerdo, manteca vegetal y esencias de vainilla, banano, y canela.

Los animales capturados fueron transportados al laboratorio ubicado en las instalaciones de la Reserva; se identificaron con base en conocimiento previo y posible presencia en el área (Alberico 1983, Alberico *et al.* 2000, López 2006, CVC-ASOYOTOCO 2006) y la revisión de especímenes en la Colección de Mamíferos de la Universidad del Valle (UV7604-7606, 7607-7620, 7622, 11634, 13442, 13449, 13584). La nomenclatura en este manuscrito sigue principalmente a Wilson & Reeder (2005), con las modificaciones propuestas por Gardner (2007) para Didelphimorphia, y Weksler *et al.* (2006)

para los roedores Oryzominos. Cada individuo fue revisado en los aspectos concernientes al sexo, estado reproductivo (inmaduro, hembras en estado de gestación o lactantes, con crías, machos con testículos escrotales), de edad (juvenil, adulto); además, se tomaron medidas corporales (largo de cuerpo, cola, pie, oreja) y peso. Para efecto de un reconocimiento individual en caso de recaptura, los animales fueron marcados. A los roedores terrestres se les practicó la amputación de dígitos, técnica comúnmente utilizada para el monitoreo de pequeños mamíferos y otros vertebrados (Rubran & Kunz 1996). Sólo se amputó un máximo de dos dígitos por individuo y se utilizó antiséptico para disminuir posibilidad de infección. A los pequeños marsupiales se les pintó el pelaje con diferentes colores y en diferentes partes del cuerpo con pintura resistente al agua. Posteriormente, cada individuo se liberó en el sitio exacto de captura.

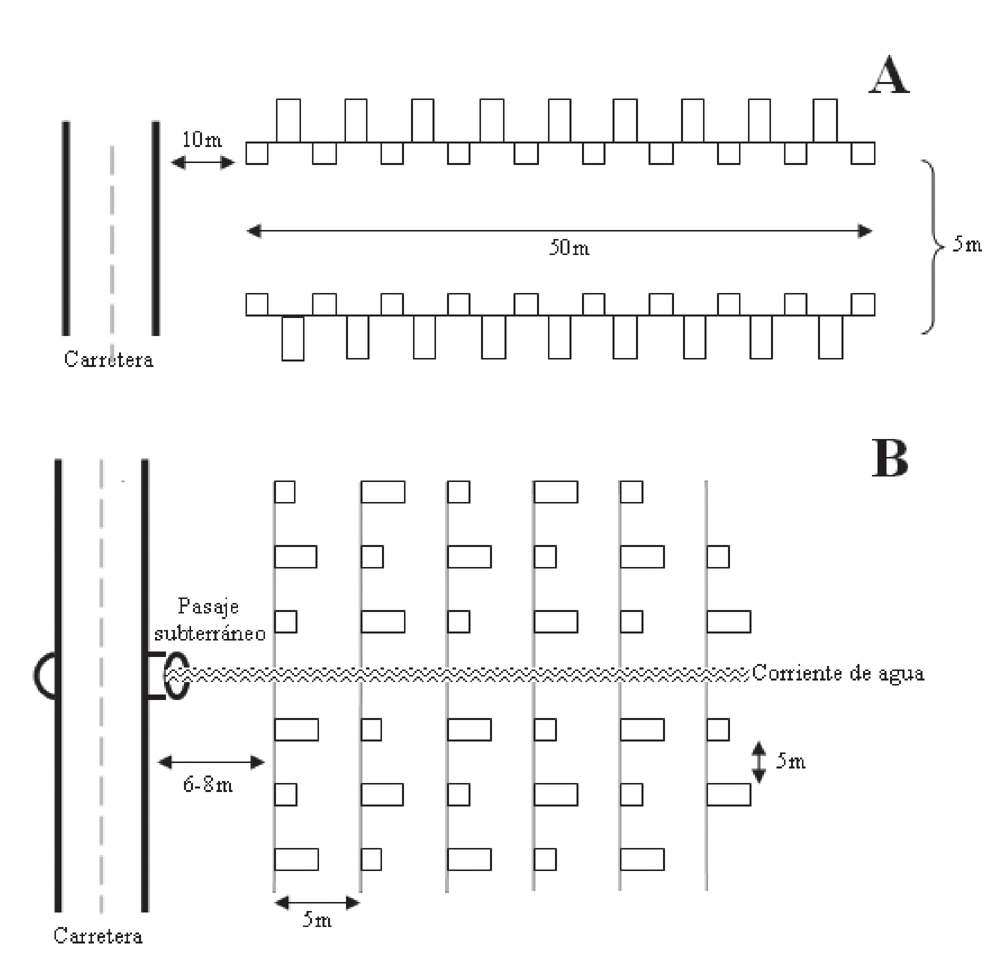


Figura 1. Ejemplo de la ubicación de las trampas Sherman para el monitoreo de pequeños mamíferos en aéreas boscosas adyacentes a la carretera en la Reserva Bosque de Yotoco, Valle del Cauca, Colombia. (A) Arreglo espacial 1 y (B) Arreglo espacial 2 (ver texto para detalles de metodología). Cuadros pequeños y grandes representan trampas pequeñas y medianas respectivamente.

Terminado el muestreo en las estaciones del primer arreglo espacial de trampas Sherman, se prosiguió con el segundo arreglo; este consistió en colocar 34 trampas tipo Sherman en un punto fijo y los animales capturados se trasladaron al lado opuesto de la carretera. De esta forma, acorde a la presencia o ausencia de recapturas, se obtuvieron resultados complementarios a los obtenidos con el primer arreglo y a estudios previos en la Reserva (López 2006). Este procedimiento se realizó en dos puntos de la carretera; el primero presenta un pasaje subterráneo que atraviesa la carretera y tiene 130cm de diámetro a través del cual fluye una corriente de agua con poco caudal. Adicional a esto, la topografía en los bordes de la carretera y el área boscosa adyacente no es abrupta lo que, permitiría el acceso y movimiento de individuos a través del pasaje subterráneo. El segundo punto está ubicado a una distancia de 800m del primer punto, y el pasaje subterráneo más cercano se encontraba a >50m de distancia. El movimiento de roedores a través de este pasaje se considera limitado en comparación al pasaje ubicado en el primer punto de muestreo, pues su apertura en el margen de la carretera hacia YA conecta con la parte inferior de un drenaje de concreto de sección rectangular cuya altura es de 3m.

La distribución de las trampas Sherman en el segundo arreglo fue diferente a la utilizada en el primer arreglo (Figura 1B), aunque se mantuvo el criterio de utilizar las trampas pequeñas a nivel del suelo y las medianas a 100- 150cm de altura en substratos arbóreos. Las trampas fueron dispuestas en cinco filas de seis trampas cada una y una fila de cuatro; las filas fueron paralelas entre sí. La primera fila se ubicó a una distancia entre 6 y 8m de la cuneta de la carretera y cada fila de trampas estaba separada de la anterior por cinco metros. Dentro de cada fila se intercalaron las trampas arbóreas (medianas) con las terrestres (pequeñas) con una separación de 5 m; igualmente, se intercalaron con respecto a la fila anterior. Las trampas se dejaron durante quince noches en cada uno de los dos puntos seleccionados. Los individuos capturados se marcaron con códigos de pintura y corte de pelo. A cada individuo se le tomó las medidas corporales estándar y se liberó al lado opuesto de la carretera a una distancia mínima de 20m del borde de la cuneta.

Dado que aspectos físicos de la carretera y de nivel de tráfico automotor están relacionados con efectos ecológicos de carreteras tales como tasa de atropellamiento de fauna o niveles de ruido y perturbación generada en el ambiente (Forman & Lauren 1998, Forman *et al.* 2003), registramos características generales de la carretera y tráfico para el segmento que atraviesa la Reserva Bosque de Yotoco. El ancho de la carretera lo calculamos en diez puntos seleccionados aleatoriamente; también registramos el número de pasajes subterráneos que podrían estar siendo utilizados por animales para la migración entre YA y YB, o que podrían adaptarse para dicho propósito. Para el registro de los niveles de tráfico vehicular y su patrón de variación a lo largo de las 24 horas del día seleccionamos una hora en el día y cuantificamos el número de vehículos que circularon por un punto dado de la carretera (frente a instalaciones de funcionarios en YA). Realizamos las mediciones tres veces para cada periodo de una hora y durante días seleccionados aleatoriamente. Finalizando el estudio obtuvimos un promedio de las características del tráfico para cada una de las 24 horas del día y asumimos que dicho promedio reflejaba la variación que pudiese presentarse debido a aspectos tales como día de la semana, época del año y/o clima.

RESULTADOS

En total registramos 170 individuos pertenecientes a cinco especies entre roedores y marsupiales: *Melanomys caliginosus* Tomes 1860, *Handleyomys alfaroi* Allen 1891, *Rhipidomys latimanus* Tomes 1860,

Heteromys australis Thomas 1901 y *Marmosa robinsoni* Bangs 1898. En el primer arreglo de muestreo se invirtió un esfuerzo de 1900 trampas-noche (190 trampas-noche para cada una de las diez estaciones) y se capturaron 60 individuos de cuatro especies (tabla 1). Las capturas fueron tanto en YA como de YB. Recapturamos 8 individuos en una ocasión y solo un individuo de *Marmosa robinsoni* en dos ocasiones; estas recapturas las realizamos dentro de las mismas estaciones de la primera captura; no recapturamos individuos entre diferentes estaciones de muestreo y por ende, no hubo recapturas de individuos al lado opuesto de la carretera en donde fue capturado por primera vez. En el segundo arreglo de muestreo se invirtió un esfuerzo de 510 trampas-noche equivalentes a 255 trampas-noche para cada uno de los dos puntos de muestro capturándose 110 individuos de cinco especies (tabla 2). Obtuvimos 39 recapturas, varias de un mismo individuo y correspondientes a las especies más grandes y arbóreas: una hembra de *M. robinsoni* y *R. latimanus* fueron recapturadas seis veces cada una. Nuestros registros de recaptura incluyen números similares de machos y hembras, pero aparentemente si varían con la edad (adultos, juveniles) pues de las 39 recapturas únicamente tres fueron juveniles (tabla 2).

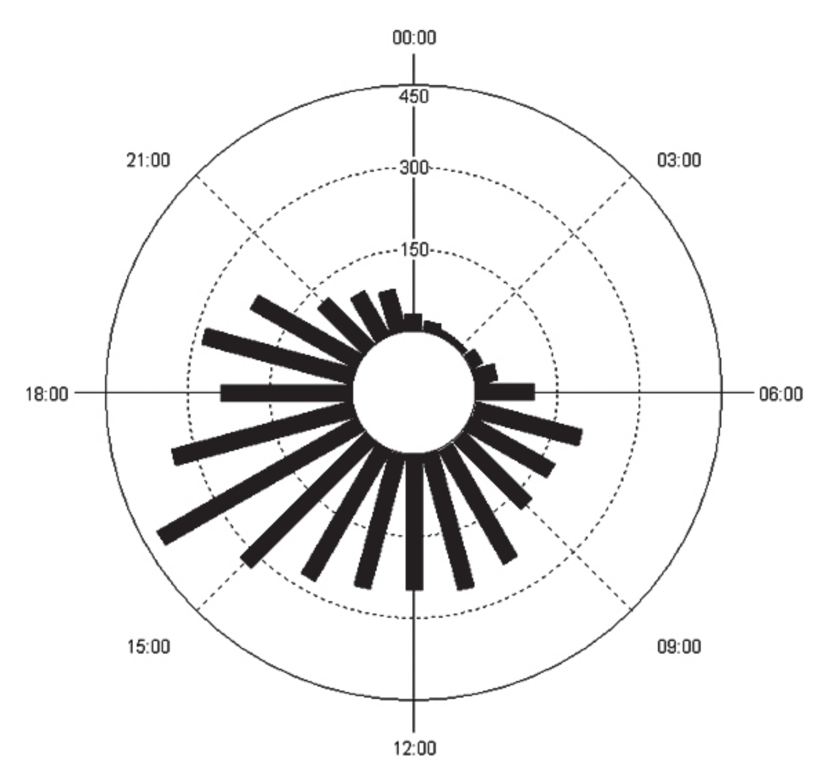


Figura 2. Patrón de variación y nivel promedio de tráfico vehicular en el segmento de la carretera Buga-Buenaventura que atraviesa la Reserva Forestal Bosque de Yotoco, Valle del Cauca, Colombia. Los registros de nivel promedio de tráfico corresponden a conteos durante los seis meses de muestreo (febrero-julio 2006). Los niveles de tráfico (ejes secundarios) para cada rango de hora (valores externos) corresponden al promedio obtenido a partir de tres conteos/hora. Nótese cómo el tráfico disminuye significativamente durante horas nocturnas (21:00-06:00).

Tabla 1. Capturas y recapturas de mamíferos pequeños en áreas de bosque adyacentes a la carretera que atraviesa la Reserva Bosque de Yotoco, Valle del Cauca, Colombia. Datos correspondientes a la metodología uno (ver texto). Los cálculos de peso corporal no incluyen las recapturas.

TAXÓN	No. DE CAPTURAS	No. DE RECAPTURAS	PESO EN GRAMOS (promedio ± ds)
Melanomys caliginosus Tomes 1860	29	3	31.96 ± 8.86
Rhipidomys latimanus Tomes 1860	10	1	59.36 ± 29.44
Handleyomys alfaroi Allen 1891	5	-	41 ± 13.49
Marmosa robinsoni Bangs 1898	16	6	73.76 ± 23.36

Tabla 2. Capturas y recapturas (cifra en paréntesis) de mamíferos pequeños en áreas de bosque adyacentes a la carretera que atraviesa la Reserva Bosque de Yotoco, Valle del Cauca, Colombia. Datos correspondientes al segundo arreglo de trampas Sherman (ver texto). Un mismo individuo pudo ser recapturado en varias ocasiones. En los cálculos que discriminan entre adultos y juveniles se omiten tres individuos capturados de la especie *H. alfaroi* debido a información incompleta.

TAXÓN	ACTIVIDAD	ADULTOS		JUVENILES		PESO EN GRAMOS (PROMEDIO ± ds)	
		♂	♀	♂	♀	ADULTOS	JUVENILES
Handleyomys alfaroi Allen 1891	Terrestre	21 (5)	21 (4)	22 (0)	7 (0)	35.5 ± 6.2	25.1 ± 4.7
Melanomys caliginosus Tomes 1860	Terrestre	6 (0)	1 (0)	1 (0)	-	48.3 ± 8.3	32.5
Rhipidomys latimanus Tomes 1860	Arbórea	4 (4)	2 (5)	3 (0)	1 (0)	59.8 ± 7.4	27.2 ± 19.1
Heteromys australis Thomas 1901	Terrestre	-	-	-	1 (0)	-	42
Marmosa robinsoni Bangs 1898	Arbórea	8 (11)	3 (7)	3 (2)	3 (1)	88.3 ± 17.4	33.5 ± 14.2

El segmento de carretera monitoreado consiste en dos carriles que permiten un tráfico en doble vía, su ancho promedio es >10m (sin incluir los desagües laterales) y no tiene estructuras en sus márgenes que sugiera un impedimento para el movimiento de los individuos monitoreados. Se encontraron 24 pasajes subterráneos que atraviesan la carretera en el segmento monitoreado; todos los pasajes tenían forma circular y su diámetro varió entre 0.6 y 1.3m. El nivel de tráfico fue > 3000 vehículos/día de los cuales aproximadamente la mitad fueron camiones y tractomulas; el tráfico fue mucho mayor en horas diurnas que en nocturnas (Figura 2) lo cual, estuvo asociado a un patrón similar de disturbio y polución acústica y visual.

DISCUSIÓN

La carretera Buga-Buenaventura inhibe parcialmente el movimiento de mamíferos pequeños entre los dos fragmentos boscosos que conforman la Reserva Bosque de Yotoco (López 2006, este estudio). La inhibición de cruzar carreteras por parte de pequeños mamíferos y otros vertebrados ha sido registrada en diversos ecosistemas (Oxley *et al.* 1974, Mader 1984, Burnett 1992, Mason 1995, Yale & Mills 2001, Goosem 2001, 2002, Shepard *et al.* 2008) y ha sido atribuida a varios factores no excluyentes entre sí. Por ejemplo, evitar depredación en áreas abiertas, alineación de territorios y rangos de actividad con los limites del bosque y la carretera, alteraciones en características abióticas y de estructura vegetal en cercanías a las carreteras y/o baja probabilidad de sobrevivencia en los intentos de cruce debido al tráfico vehicular. Determinar cuál de estas opciones es la que se asocia a nuestros resultados requerirá posteriores estudios.

La inhibición de cruzar la carretera por pequeños mamíferos en el Bosque de Yotoco

parece ser menor que la registrada para algunos roedores en ecosistemas templados (p.ej. Oxley *et al.* 1974, Mader 1984) pero mayor a la encontrada para algunas especies en ambientes tropicales (p.ej. Burnett 1992, Goosem 2001, 2002). En estos estudios realizados en áreas tropicales de Queensland-Australia, se encontró que los animales atravesaban la carretera cuando eran inducidos a través de la colocación de cebos a un solo lado de la vía, lo cual no sucedió sucedió en nuestro estudio, ni en López (2006). La diferencia en los niveles de inhibición por parte de los animales podría deberse a que los sitios de estudio se diferencian en el nivel de tráfico; por ejemplo, la carretera en el área de estudio de Goosem (2001, 2002) tenía un tráfico que variaba entre 20 y 40 vehículos/día, mientras que en el Bosque de Yotoco supera los 3000 vehículos/día. El nivel de tráfico es negativamente asociado a la probabilidad de atravesar las carreteras exitosamente lo que favorece la sobrevivencia de individuos que se inhiben de hacerlo (Forman *et al.* 2003). Otros factores tales como la amplitud del área sin vegetación también pueden inhibir a los individuos a moverse a través de las carreteras (Oxley *et al.* 1974, Goosem 1997, Laurance *et al*. 2009). Ya sea producto de los niveles de tráfico o la amplitud de la carretera, la inhibición por parte de las especies en nuestro estudio explicaría porque durante seis meses de monitoreo en la Reserva Bosque de Yotoco solo se registró un roedor, no identificado, entre los animales atropellados (Vargas *et al.* 2011). Esta baja tasa de atropellamiento para los pequeños mamíferos que registramos en el área de estudio puede ser interpretada como evidencia adicional del rol que juega la carretera Buga-Buenaventura como una barrera inhibitoria para el flujo de individuos entre los dos fragmentos que conforman el Bosque de Yotoco (Goosem 1997) y posiblemente en otros bosques andinos de Colombia (pero ver Delgado-V. 2007). Tanto en los estudios de Goosem (2001, 2002) y Burnett (1992) como en el nuestro y en López (2006), los datos de captura y recaptura señalan que las especies monitoreadas pueden desplazarse distancias mayores al ancho de la carretera y, por ende, la inhibición de cruzarla no se debe a inhabilidades físicas de los individuos.

La recaptura de individuos en YB después de haberlos liberado en YA demuestra que la inhibición de cruzar la carretera en nuestra área de estudio no es total. El cruzar la carretera para volver al sitio donde fue capturado lo atribuimos a la fidelidad que los individuos pueden tener a un área de actividad específica. Esta fidelidad a sitios específicos está presente en vertebrados e invertebrados, y se ha asociado a beneficios que ofrece un sitio conocido: disponibilidad de alimentos, conocer la ubicación de refugios ante condiciones abióticas, sitios de reproducción, y rutas escape ante depredadores (Vaugham *et al.* 2000, Alcock 2005). La fidelidad a un área de actividad específica fue especialmente notoria cuando un mismo individuo fue capturado, trasladado, liberado y recapturado varias veces en una misma trampa. Por ejemplo, una hembra de *M. robinsoni* fue recapturada cuatro veces en una misma trampa Sherman (otras dos ocasiones en trampas contiguas) y una hembra de *R. latimanus* fue recapturada en seis ocasiones en la misma trampa. En machos de *M. robinsoni* también se ha registrado esta fidelidad a un sitio específico pero con una frecuencia menor (F. López, observaciones personales) lo que podría deberse a una mayor tendencia nómada de los machos, mientras que las hembras son altamente fieles a sus nidos en cavidades, especialmente en época de crianza (O'Connell 1983, Eisenberg 1989).

No observamos si la ruta utilizada por los individuos para cruzar la carretera es a través de pasajes subterráneos y/o sobre la superficie de la vía. Sin embargo, los patrones de

actividad podrían estar asociados a la probabilidad de cruce exitoso de acuerdo a la ruta utilizada por los animales. Por ejemplo, si los individuos de *M. robinsoni* y *R. latimanus* (especies nocturnas) cruzan sobre la superficie de la carretera, pueden tener más chances de sobrevivencia que si lo hicieran en horas diurnas debido a la reducción en los niveles de tráfico durante la noche. Contrario podría suceder con individuos de *Melanomys caliginosus*, especie predominantemente diurna (Emmons & Feer 1997, Tirira 2007) que podría estar experimentando más inhibición que las especies nocturnas debido al alto volumen de tráfico durante las horas del día. Nuestros datos sugieren que la probabilidad de atravesar la carretera exitosamente podría estar relacionada con el tamaño corporal de los individuos. La mayor cantidad de cruces registrados (recapturas) fue de adultos y juveniles de *M. robinsoni*, la especie de mayor tamaño corporal; en *H. alfaroi* y *R. latimanus* sólo individuos adultos y relativamente grandes fueron recapturados (tabla 2). Estas hipótesis son acorde a la relación entre tamaño del cuerpo y distancias de dispersión en mamíferos (Swihart *et al.* 1988, Sutherland *et al.* 2000), pero más información es necesaria para las especies en nuestra área de estudio.

Es reconocido que carreteras más estrechas y con menos nivel de tráfico que la vía Buga-Buenaventura generan cambios drásticos en la composición de especies de mamíferos en áreas de por lo menos 30-50m en cada una de sus márgenes (Goosem 2000, 2002, véanse también las citas en Goosem 1997). La mayoría de especies capturadas en este estudio son propias de bordes de bosque, zonas en regeneración, o son especies comunes que toleran fragmentación de hábitat (Emmons & Feer 1997, Eisenberg 1989). Aun así, nuestros datos y los resultados de López (2006) sugieren que exhiben inhibición parcial de cruzar la carretera. Con base en lo anterior, sería de esperar que dicha inhibición sea más fuerte, o total, en especies de mamíferos de interior de bosque que tienden a estar ausentes en las áreas boscosas cercanas a las carreteras (Laurance *et al.* 2009). En nuestros muestreos no capturamos u observamos especies registradas previamente para el Bosque de Yotoco y que son consideradas de interior de bosque y sensibles a perturbaciones antropogénicas: el ratón *Nephelomys albigularis* Tomes 1860, la comadreja *Mustela frenata* Lichtenstein 1831, el cuzumbo *Nasua nasua* Linnaeus 1766 (Emmons & Feer 1997). Una excepción en nuestros datos podría ser la captura de *H. australis*, especie cuya actividad se restringe a bosques tropicales con poca perturbación (Anderson 2003); no obstante, solo se capturó un individuo de esta especie en una de las trampas más alejadas de la carretera (± 30m).

Los efectos de la fragmentación interna de poblaciones debido a las carreteras pueden ser variados e importantes desde el punto de vista conservacionista (Bennett 1991, Goosem 2002, Shepard *et al.* 2008). Eventuales planes de manejo para reducir los niveles de fragmentación interna debido a carreteras incluirían la adaptación de pasajes subterráneos (Clevenger *et al.* 2001, Taylor & Goldingay 2003) y el establecimiento de puentes de dosel (Horwich 1998, Weston 2001, Goosem & Weston 2002, Goosem *et al*. 2005). A este respecto, la mayoría de los pasajes subterráneos que atraviesan la carretera en la Reserva Bosque de Yotoco no posee rampas que permitan un fácil acceso por parte de los pequeños mamíferos terrestres. Sin embargo, en la Reserva se ha instalado un pasaje arbóreo para que sea utilizado por especies activas en vegetación adyacente a la carretera (pe. mono capuchino *Cebus capucinus* Linnaeus 1758 , mono aullador *Alouatta seniculus* Linnaeus 1766, mono nocturno *Aotus lemurinus* Geoffroy 1843, perros de monte *Potos flavus* Schreber 1774). Desconocemos si la inhibición de cruzar la carretera por parte de las especies registradas en el Bosque de Yotoco se refleja en algún de-

trimento en sus poblaciones, pero este estudio ofrece información básica para empezar a evaluarlo y llama la atención sobre la necesidad de investigaciones sobre el tema en otras zonas del país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo logístico y financiero de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y la Asociación de Cuencas de los Ríos Yotoco y Media-Canoa (ASOYOTOCO). Este manuscrito hace parte del Convenio CVC-ASOYOTOCO 086-2005. Se agradece también a la Universidad Nacional sede Palmira y en general, a todas las entidades afiliadas al Comité Interinstitucional para el Manejo de la Reserva Forestal Bosque de Yotoco (CIRNY). Especial agradecimiento a Robert Peck, Efrén Salcedo y Milton Reyes-Gutiérrez por su interés y constante apoyo a lo largo de esta investigación. Gracias a M. Noguera, W. E. Garzón, W. López, M. Ríos, E. Caicedo, C. Vidal y los funcionarios de la CVC (A. Vélez, P. A. Mosquera y G. Ríos & familia) y de la Universidad Nacional sede Palmira (V. Hidalgo) por su ayuda en el trabajo de campo y/o recolección de información. A los biólogos O.L. Torres, C.A. Saavedra-Rodríguez, J.H. Velandia-Perilla y S. M. Duran por su ayuda en la obtención de literatura, revisión de especímenes y/o revisión de primeras versiones del manuscrito. A los profesores A. Giraldo y W. Bolívar del departamento de Biología de la Universidad del Valle por facilitar el acceso a los especímenes de la colección de Mastozoología. Finalmente, a los doctores M. Goosem, R. Goldingay, C. Mata y S. C. Trombulak por compartir su amplia experiencia sobre los efectos ecológicos de las carreteras. Versiones preliminares de este manuscrito mejoraron sustancialmente gracias a las sugerencias de dos evaluadores anónimos. Parte del equipo utilizado para el trabajo de campo fue donado a F. Vargas-Salinas por IdeaWild.

LITERATURA CITADA

Alberico, M. 1983. Lista anotada de los mamíferos del Valle. Cespedesia 12: 51-72.

Alberico, M., A. Cadena, J. Hernández-Camacho & Y. Muñoz-Saba. 2000. Mamíferos (Synapsida: Theria) de Colombia. Biota Colombiana 1(1): 43-75.

Alcock, J. 2005. Animal Behavior. Eighth edition. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachussets.

Anderson, R.P. 2003. Taxonomy, distribution, and natural history of the genus *Heteromys* (Rodentia: Heteromyidae) in Western Venezuela, with the description of a dwarf species from the Península de Paraguaná. American Museum Novitates 3396: 1-43.

Bennett, A.F. 1991. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. Págs. 99-118. *In* D.A. Saunders & R.J. Hobbs (eds.). Nature Conservation 2: the role of corridors. Surrey Beatty & Sons Pty Limited. Chipping Norton.

Burnett, S.E. 1992. Effects of a rainforest road on movements on small mammals: mechanism and implications. Wildlife Research 19: 95-104.

Clevenger, A.P., B. Chruszez & K. Guscon. 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. Journal of Applied Ecology 38: 1340-1349.

CVC-ASOYOTOCO. 2006. Implementación de Acciones de Manejo para La Conservación del Ecosistema Andino y Subandino de La Cordillera Occidental. Vol. I: La Albania. Informe inédito a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, CONVENIO 086 de 2005, Cali.

De La Zerda, S. & Rosselli, L. 2003. Mitigación de colisión de aves contra líneas de transmisión eléctrica con marcaje del cable de guarda. Ornitología colombiana 1: 42-62.

Delgado-V. C.A. 2007. Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envi-

gado (Antioquia), Colombia. Actualidades Biológicas 29: 229-233.

EiseNberg, J.F. 1989. Mammals of the Neotropics. Volume 1. The northern Neotropics. The University of Chicago Press. Chicago.

Emmons, L.H. & F. Feer. 1997. Neotropical rainforest mammals, a field guide. Second edition. The University of Chicago Press. Chicago.

Escobar, E. 2001. Presentación de Yotoco, Reserva Natural. Flora: plantas vasculares. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Forman, R.T.T. & A.E. Lauren. 1998. Roads and their major ecological effects. Annual Review in Ecology and Systematics 29:207-231.

Forman, R.T.T., D. Sperling, J. Bissonette, A. Clevenger, C. Cutshall, V. Dale, L. Fahrig, R. France, C. Goldman, K. Heanue, J. Jones, F. Swanson, T. Turrentine, & T. Winter. 2003. Road Ecology: Science and Solutions. Island Press, Washington DC.

Frankham, R., J.D. Ballou, & D.A. Briscoe. 2002. Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press. Cambridge.

Gardner, A.L. 2007 (ed). Mammals of SothAmerica. Marsupilas, Xenarthrans, Shrews, and Bats. The University of Chicago Press. 669 pp. Chicago.

Goosem, M. 1997. Internal Fragmentation: the effects of roads, highways, and powerline clearings on movements and mortality of rainforests vertebrates. Págs. 241-255. *In* W.F. Laurance & R.O. Bierregaard Jr. (eds.). Tropical forest Remnants. Ecology, Management, and Conservation of fragmented Communities. The University of Chicago Press, Chicago & Londres.

Goosem, M. 2001. Effects of tropical rainforest roads on small mammals: inhibition of crossing movements. Wildlife Research 28: 351-364.

Goosem, M. 2002. Effects of tropical rainforest roads on small mammals: fragmentation, edge effects and traffic disturbance. Wildlife Research 29: 277-289.

Goosem, M. 2007. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. Current Science 93(11): 1587-1595.

Goosem, M. & N. Weston. 2002. Under and Over. Wildlife Australia magazine 2002: 34-37.

Goosem, M., N. Weston & S. Bushnell. 2005. Effectiveness of rope bridge arboreal overpasses and faunal underpases in providing connectivity for rainforest fauna. In: C.L. Irwin, P. Garrett & K.P. McDermott. (eds). Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation: 304-316. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University: Raleigh, NC.

Horwich, R.H. 1998. Effective solutions for howler conservation. International Journal of Primatology 19(3): 579-598.

Laurance, W.F., M. Goosem & S. G.W. Laurance. 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. Trends in Ecology and Evolution 24(12): 659-669.

López, W.F. 2006. Efecto del corredor vial Buga-Buenaventura, ubicado en la Reserva Natural Bosque de Yotoco (Valle del Cauca, Colombia) en la comunidad de Mamíferos y Fundamento para una propuesta de corredores artificiales. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología y Fundación Alejandro Ángel Escobar, Bogotá D.C.

Mader, H.J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. Biological Conservation 29: 81-96.

Mason, D. 1995. Effects of roads on the abundance and movements of understorey birds in a Venezuelan rain forest. In "Ninth Annual Meeting of the Society for Conservation Biology, Fort Collins, Colorado, Program and Abstracts, p. 56.

O´Connell, M.A. 1983. *Marmosa robinsoni*. Mammalian Species 203: 1-6.

Osorno-Muñoz, M. 1999. Evaluación del efecto de borde para poblaciones de

Eleutherodactylus viejas (Amphibia: Anura: Leptodactylidae), frente a corredores de servidumbre en diferente estado de regeneración, en dos bosques intervenidos por líneas de transmisión eléctrica de alta tensión. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 23 (suplemento especial): 347-356.

Oxley, D.J., M.B. Fenton & M.B. Carmody. 1974. The effects of roads on populations of small mammals. Journal of Applied Ecology 11: 51-59.

Quintero-Ángel A., D. Osorio-Domínguez, F. Vargas-Salinas & C.A. Saavedra-rodríguez. 2012. Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. Herpetology Notes 5:99-105.

Rubran, R. & Kunz, T.H. 1996. Methods for marking mammals. Págs. 299-310. *In* D.E. Wilson, F. Rusell-Cole, J.D. Nichols, R. Rudran & M.S. Foster (eds.). Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for mammals. Smithsonian Institution Press. Washington D.C.

Seiler, A. 2001. Ecological Effects of Roads. A review. Introductory Research Essay, Department of Conservation Biology SLU 9(40): 1-40.

Shepard, D.B., A.R. Kuhns, M.J. Dreslik & C.A. Phillips. 2008. Roads as barriers to animal movement in fragmented landscapes. Animal Conservation 11: 288-296.

Sutherland, G.D., A.S. Harestad, K. Price & K.P. Lertzman. 2000. Scaling of natal dispersal distances in terrestrial birds and mammals. Conservation Ecology 4(1): 16.

Swihart, R.K., N.A. Slade & B.J. Bergstrom. 1988. Relating body size to the rate of home range use in mammals. Ecology 69: 393-399.

Taylor, B.D. & R. L. Goldingay.2003. Cutting the carnage: wildlife usage of road culverts in north-eastern New South Wales. Wildlife Research 30: 529-537.

Tirira, D. 2007. Guía de campo de los mamíferos del Ecuador. Ediciones Murciélago Blanco. Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador 6. Quito. 576p.

Van Der Zande A.N., W.J. ter Keurs & W.J. van der Weijden. 1980. The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat - evidence of a long distance effect. Biological Conservation 18: 299-321.

Vargas-Salinas, F., I. Delgado-Ospina & F. López-Aranda. 2006. Efecto del Corredor Vial Buga-Buenaventura en la Fauna de Vertebrados Terrestres de la Reserva Forestal Bosque de Yotoco, Valle del Cauca. En: Implementación de Acciones de Manejo para La Conservación del Ecosistema Andino y Subandino de La Cordillera Occidental: Bosque La Albania y Reserva Forestal Bosque de Yotoco, Departamento del Valle del Cauca. Volumen II. ASOYOTOCO-CVC, CONVENIO 086 de 2005.

Vargas-Salinas, F., I. Delgado-Ospina & F. López-Aranda. 2011. Mortalidad por atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia. Caldasia 33(1): 121-138.

Vaugham, T.A., J.M. Ryan & N.J. Czaplewski. 2000. Mammalogy. Fourth Edition. Saunders College Publishing, Philadelphia. 565pp.

Weksler, M., A.R. Percequillo & R.S. Voss. 2006. Ten new genera of Oryzomyine rodents (Cricetidae: Sigmodontinae). American Museum Novitates 3537: 1-29.

Weston, N. 2001. Bridging the rainforest gap. Wildlife Australia Magazine 2001: 16-19.

Wilson, D.E. & D.M. Reeder. (eds). 2005. Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference. Third edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore: 745-2142.

Yale, R.C.C. & L.S. Mills. 2001. Do highways fragment small mammal populations? Proceedings International Conferences on Ecology and Transports ICOET (Australia): 446-457.

Recibido: 02/12/2010
Aceptado: 24/05/2012